

А.А. ТЕСЛЕНКО, канд. физ.-мат. наук, НТУ «ХПИ»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЬЕЗООПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

У роботі імітаційними методами досліджується точність методу фотопружності для випадку методики, використовуваної при автоматизації вимірювань. Показані обмеження застосовності методики, пов'язані з точністю визначення орієнтації досліджуваного виробу.

In simulation methods work being presented, the photoelasticity method accuracy is investigated for methods used under measurements automation. Besides, the method application limitations related to the investigated product orientation accuracy evaluation are shown

1. Введение. В настоящее время продолжается процесс внедрения в конвейерное производство автоматических методов измерения качества прозрачных материалов. Важным параметром для стекол и кристаллов является низкий уровень остаточных напряжений. Следствием этого есть развитие конвейерных методов пьезооптических измерений. В данной статье исследуются проблемы автоматизации измерений методами численного моделирования. Проводимое здесь исследование является продолжением исследований, представленных в [1-5].

2. Актуальность рассматриваемой проблемы. Методы численного моделирования позволяют предсказать и исследовать проблемы пьезооптических измерений, не создавая самих приборов. Некоторые проблемы, решения которых в практических измерениях найти очень трудно, легко исследуются модельным образом. В данной работе предлагается пример такого исследования.

3. Исследуемая методика измерений. В данной методике измерений свет проходит оптическую систему, состоящую из источника света, поляризатора, исследуемого плоского тела, второго поляризатора, скрещенного с предыдущим и устройства, измеряющего интенсивность полученного света. Таких измерений делается два. Первое – с исходной ориентацией скрещенных поляроидов, другое – с ориентацией, повернутой на 45°. В каждой паре таких измерений определяются оптический параметр изоклины (или угол изоклины) и разность фаз. Для определения плоских напряжений нужно две пары таких измерений. Одна делается обычно перпендикулярно плоскости исследуемого тела, другая – под наклоном к его поверхности. Теоретические основы методики описаны в [6]. Далее приводятся только конечные формулы для определения угла изоклины (φ – угла между анализатором и быстрой оптической осью исследуемого тела в конкретной точке) и разности фаз (Θ):

$$\sin^2 \frac{\Theta}{2} = \frac{I_1 + I_2}{I_0} \quad \text{и} \quad \sin^2 2\varphi = \frac{I_1}{I_1 + I_2}.$$

Здесь I_1 – интенсивность света, полученная в первом просвечивании, I_2 – интенсивность для повернутых скрещенных поляроидов на 45°.

4. Метод конечных фотоупругих элементов (МКФЭ). В данной работе решение ищется в конечноэлементном виде и называется «методом конечных фотоупругих элементов». С точки зрения МКЭ метод конечных фотоупругих элементов - новая модификация метода, в которой элементы обладают не только упругими, но и пьезооптическими свойствами. Эта модификация описана в [1,2,5] и здесь считается известной. Измерения производятся непосредственно в местах расположения узлов, и роль МКЭ в этой работе сводится к интерполяции данных.

5. Численный эксперимент. В данном численном эксперименте погрешность была заложена в неточности установки исследуемого тела в поляриметр, а именно, считался неточно заданным угол наклона луча света поляриметра. Большая погрешность может реализовываться, если исследуемые тела являются изделиями производства, находящимися на конвейере и автоматически подающимися в измерительную установку. Еще большие погрешности возникают при измерениях в процессе движения изделий на конвейере, когда имеют место вибрации изделий.

В качестве модели исследуемого изделия взята модель сосредоточенной силы, действующей на поверхность бесконечной полуплоскости. $\sigma_r = 2 P \sin \alpha / (\pi r)$. Геометрическое место точек равных напряжений получим из условия $\sin \alpha / r = \text{const}$ для любого круга, который в точке О касается края (рис. 1).

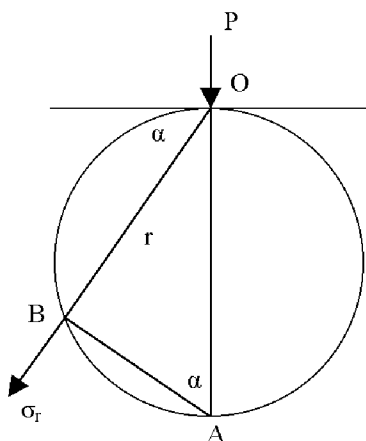


Рисунок 1

Предполагается, что изделие помещается в (или проходит сквозь) поляриметр, где через него проходят два луча по описанной ранее методике. Один – перпендикулярно, другой – под углом в 27° . Считается, что угол наклона перпендикулярного и наклонного просвечивания известен с точностью до нормально распределенной величины со среднесквадратическим отклонением в $0,1^\circ$. В результате имеем две пары оптических параметров: δ – оптическая разность хода и φ – оптический параметр угла изоклины. По этим двум парам оптических параметров определяем узловые значения напряжений.

6. Обсуждение результатов. Результирующая картина напряжений приближена по двум причинам. Картина напряжений приближена в связи с интерполяционным характером метода конечных элементов. Картина напряжений приближена в связи с ошибками измерений, которые генерируются в имитационном эксперименте. Исходная картина напряжений иллюстрируется рисунком распределения компоненты σ_r соответствующей рассматриваемой модели (рис. 2).

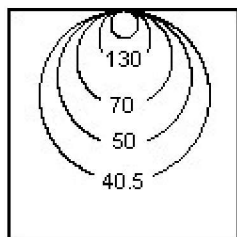


Рисунок 2

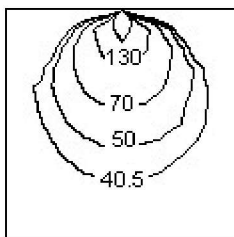


Рисунок 3



Рисунок 4

Остальные компоненты равны нулю. В точке приложения сосредоточенной силы напряжение равно 950 Па. После имитационных измерений и последующего расчета получаем распределение, показанное на рис. 3.

Картина распределения погрешности – рис. 4.

Максимальная погрешность 1,3 Па, минимальная – 1,91 Па.

Погрешности в σ_{ff} и σ_{tf} имеют распределение – рис. 5, 6.



Рисунок 5

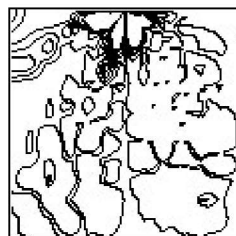


Рисунок 6

Максимальная погрешность в σ_{ff} равняется 1,3 Па, в σ_{tf} – 0,75 Па. Погрешности распределены хаотично. Поэтому величины изолиний не подписаны.

Однако при погрешности в угле наклона в 1° , погрешность в σ_{tf} возрастает до 130 Па. Такая чувствительность к ошибке требует либо очень тщательной установки образца в устройство, либо менее чувствительной к ошибкам методики измерений.

7. Выводы. Компонента σ_{tf} определяется в данном численном эксперименте с точностью до 10 % от своего максимального значения при среднеквадратической ошибке в угле наклона луча $0,1^\circ$. Если в эксперименте необходимо контролировать только максимальное напряжение, что верно в некоторых приложениях, то такая погрешность вполне допустима. Однако, как видно из экспериментов, ошибка в сдвиговых напряжениях становится отличной от нуля в условиях этого опыта. Величина отличия равна тем же 10 % от максимальных нормальных напряжений. Появление отличных от нуля сдвиговых компонент может для многих приложений быть неприемлемым. В таких случаях данный измерительный подход применить будет нельзя, и необходима разработка методики для конкретного случая формы тела и даже распределения напряжений.

Список литературы: 1. Тесленко А.А. / Заводская лаборатория. – 1998. – Т. 64, № 8. – С. 42-44. 2. Гаврилюк В.П., Гринев Б.В., Каплан М.С., Тесленко А.А., Тихонова Е.В. / Функциональные материалы. – 1995. – №4. – С. 543. 3. Тесленко А.А. Развитие метода фотоупругости и его применение к исследованию остаточных напряжений в монокристаллах. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Харьков. 1991. – 22 с. 4. Тесленко А.А., Каплан М.С., Тиман Б.Л. и др. / Заводская лаборатория. – 1993. – Т. 59, № 2. – С. 64-66. 5. Тесленко А.А. Методы конечных элементов и фотоупругости // Вестник национального технического университета «ХПИ»: Тематический выпуск «Динамика и прочность машин». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 22. – С. 143-148. 6. Александров А.Я., Ахмензянов М.Х. / В кн.: Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. – Москва: Наука, 1973. – С. 146.

Поступила в редколлегию 17.04.2006.

УДК 539.3:629.833: 621.9.042

Н.Н.ТКАЧУК, НТУ «ХПИ»

ТОПОЛОГИЧЕСКИ РЕГУЛЯРНЫЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ СЕТКИ ДЛЯ ТЕЛ С КИНЕМАТИЧЕСКИ ГЕНЕРИРУЕМЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

В роботі запропоновано технологію побудови топологічно регулярних скінченно-елементних моделей тіл зі складною геометрією. Вона дозволяє отримувати параметризовані скінченно-елементні моделі в рамках процедури синтезу геометрії досліджуваних об'єктів і може бути реалізована у САЕ-комплексах.

In the paper a technology of topological regular finite element models generation for bodies with complicated geometry is proposed. It enables to achieve parameterized finite element models within the framework of researched objects' geometry synthesis procedure and can be implemented in CAE software.

Введение. Обширный класс машиностроительных конструкций содержит детали и узлы, форма поверхности которых проектируется в соответствии с функциональными и эксплуатационными требованиями к сопряжению и взаимодействию их с другими элементами конструкции. В этом случае в процессе проектирования необходимо учитывать и функциональные, и прочностные требования и ограничения, причем во взаимосвязи. Наибольшие трудности подобная взаимосвязанность геометрических и прочностных параметров представляет для элементов конструкций сложной формы, в которых под действием рабочих нагрузок реализуется сложное напряженно-деформированное состояние.

Для решения задач подобного класса была предложена технология, соединяющая в рамках единого итерационного процесса уточнения параметров этапы синтеза кинематически генерируемых поверхностей (КГП) и анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) сложнопрофильных тел (СПТ) с учетом контактного взаимодействия [1, 2]. Проблемным этапом при организации многовариантных исследований НДС являются операции с конечно-элементной моделью (КЭМ) исследуемого СПТ. Особенно это относится к управлению разбивкой на конечные элементы (КЭ) и считыванию ре-